

# 基于无人机激光雷达的港口堆垛智能化测量作业系统

朱振国

天津港航工程有限公司 天津 300450

**摘要:** 随着港口物流业的快速发展,传统港口散货堆场的货垛测量及存量更新存在过程复杂、误差大等问题。本文提出基于无人机激光雷达的港口堆垛智能化测量作业系统,旨在提高港口堆场的测量精度和数字化管理深度,为港口散货堆场的日常智能化监管奠定良好的基础。

**关键词:** 无人机激光雷达;港口堆垛;智能化;测量作业系统

## 引言

港口作为货物进出口的重要通道,其堆垛测量及存量更新的准确性和效率直接影响港口的运营效率。传统测量方法存在过程复杂、误差大等问题,难以满足现代港口智能化管理的需求。因此,基于无人机激光雷达的港口堆垛智能化测量作业系统应运而生。

### 1 无人机激光雷达技术原理

无人机激光雷达(Lidar, Light Detection and Ranging)技术,作为无人机传感领域的佼佼者,其核心在于利用激光束对地面、建筑物等目标进行高效扫描。该技术基于激光与物体表面的反射作用,通过精密计算激光束的发射与接收时间差,以及光的传播速度,能够精确测定目标物体的距离信息。同时,结合先进的定位与定向技术,Lidar还能进一步获取目标的速度、方位等多维度数据。得益于其高精度、高速度以及高分辨率的显著优势,无人机激光雷达技术能够迅速且准确地捕捉目标信息,为后续的数据处理与分析提供坚实的数据支撑,从而在多个领域展现出广泛的应用潜力。

## 2 系统组成与工作流程

### 2.1 系统组成

基于无人机激光雷达技术的港口堆垛智能化测量作业系统,是一个集成了高精度感知、高效数据处理与智能分析于一体的综合系统。其核心组成部分及其详细功能、技术特点如下:

#### 2.1.1 高性能多旋翼无人机平台

高性能多旋翼无人机平台是港口堆垛智能化测量作业系统的关键支撑。它采用先进的多旋翼设计,结合精确的电机控制和优化后的飞行算法,即使在强风、复杂气流等恶劣条件下,也能确保无人机保持稳定的飞行姿态,从而为高精度测量提供一个稳固的平台基础。在动力系统方面,无人机配备了高性能的电池和电机,不仅提供了充足的动力支持,还确保了无人机能够携带激光

雷达、双光吊舱等相对较重的作业设备,进行长时间的飞行作业。此外,无人机的飞行控制系统与导航系统也极为先进<sup>[1]</sup>。它集成了GPS、惯性导航系统(INS)等多种导航技术,使得无人机能够实现精确定位和自主导航。同时,为了避免在港口复杂环境中发生碰撞,无人机还配备了先进的避障系统,进一步提升了飞行的安全性。在通讯与数据传输方面,无人机采用了高速、稳定的无线通讯技术。这一技术确保了无人机与地面控制站之间能够实时、高效地传输测量数据,从而保证了测量数据的及时回传和后续处理。这样的设计不仅提高了测量作业的效率,也为港口的智能化管理提供了有力的技术支持。

#### 2.1.2 高精度激光雷达传感器

高精度激光雷达传感器是港口堆垛智能化测量作业系统的核心组件。其测量原理基于激光测距技术,通过发射激光束并接收由目标物体反射回来的信号,利用光信号的时间差和已知的光速来精确计算出目标物体的距离。结合精密的扫描机构旋转,激光雷达能够实现对堆垛货物的全方位、三维立体测量,为后续的货物管理和分析提供详尽的数据基础。在性能方面,激光雷达传感器采用了先进的激光发射器和接收器技术,确保了测量的高精度,其精度可达到毫米级。同时,高分辨率的扫描机构设计使得激光雷达能够捕捉到货物表面的细微特征,如堆垛的微小起伏、货物的边缘轮廓等,为货物的精准分类和库存管理提供了有力支持。此外,激光雷达传感器还具备出色的快速扫描能力。它能够在极短的时间内完成对整个堆垛区域的全面扫描,显著提高了测量作业的效率。并且,针对港口环境的特殊性,激光雷达传感器还设计了防尘、防水等防护措施,确保在恶劣的环境条件下也能保持稳定的工作状态,为港口的持续、高效运营提供了可靠的技术保障。

#### 2.1.3 双光吊舱与三光吊舱

双光吊舱与三光吊舱在港口堆垛智能化测量作业系统中扮演着至关重要的角色。它们采用了先进的光学成像技术，其中双光吊舱融合了可见光和红外光两种成像模式，确保了在各种光照条件下都能获取到清晰的图像。特别是在夜间或低光照环境下，红外光成像技术能够捕捉到货物的热辐射信息，为测量作业提供了更多的数据维度。而三光吊舱则在双光吊舱的基础上进一步升级，增加了紫外光成像模式。这一增强功能使得系统能够捕捉到货物表面的特殊材质或细微污渍等细节信息，为货物的精准分类、质量检测以及后续处理提供了更为丰富的依据。在图像质量方面，双光吊舱与三光吊舱均采用了高分辨率的光学镜头，并结合先进的图像处理技术，确保所获取的图像不仅清晰细腻，而且色彩还原度高。当这些光学图像与激光雷达数据相结合时，测量结果变得更为直观、全面，为港口堆垛的智能化管理提供了强有力的支持。此外，双光吊舱与三光吊舱还与激光雷达实现了紧密的集成，并通过统一的控制系统进行协同工作。在测量过程中，光学图像与激光雷达数据能够实时融合，为后续的数据处理和分析提供了丰富、准确的信息支持，进一步提升了港口堆垛智能化测量作业系统的整体性能。

## 2.2 工作流程

在港口堆垛智能化测量作业中，基于无人机激光雷达的系统遵循着一套高度精细化、自动化的工作流程，以确保测量结果的准确性和高效性。以下是该流程的详细阐述：

### 2.2.1 前期准备与设备配置阶段

根据港口堆垛的规模、分布以及测量精度要求，选择具备足够载荷能力、飞行稳定性和续航能力的无人机平台。考虑无人机的起飞重量、飞行速度、抗风等级等因素，确保无人机能够在复杂多变的港口环境中稳定作业。将高精度激光雷达安装于无人机的适当位置，确保其在飞行过程中能够全方位、无死角地扫描堆垛货物。同时，对激光雷达进行校准，确保其测量精度达到毫米级。安装包含可见光、红外光和紫外光成像的双光吊舱与三光吊舱，确保在不同光照条件下都能获取到清晰的图像信息。调整吊舱的角度和焦距，使其与激光雷达的扫描范围相匹配。建立无人机、激光雷达、双光吊舱与三光吊舱之间的通信链路，确保数据能够实时、准确地传输至地面控制站或云端处理平台。同时，设置数据同步机制，确保各设备采集的数据在时间戳上保持一致。根据港口堆垛的分布情况，规划无人机的飞行航线，确保其能够覆盖所有需要测量的堆垛区域。同时，进行飞

行前的安全检查，包括无人机电池电量、飞行控制系统状态、通信设备连接情况等，确保无人机能够顺利起飞并完成任务。

### 2.2.2 飞行作业与数据采集阶段

无人机按照预设的航线自主起飞，并沿着规划好的路径飞行。在飞行过程中，无人机通过GPS和惯性导航系统（INS）实现精确定位和自主导航，确保飞行轨迹的准确性和稳定性。激光雷达在飞行过程中持续发射激光束，对堆垛货物进行全方位、高密度的扫描。通过接收反射回来的激光信号，计算出货物的距离信息，并结合扫描机构的旋转角度，生成堆垛货物的三维点云数据<sup>[2]</sup>。双光吊舱与三光吊舱在飞行过程中同步工作，捕捉货物的可见光、红外光和紫外光图像。这些图像信息为后续的货物分类、质量检测以及表面状况分析提供了丰富的视觉依据。无人机将采集到的激光雷达数据和光学图像数据实时传输至地面控制站或云端处理平台。地面控制站或云端平台对接收到的数据进行实时监控和初步处理，确保数据的完整性和准确性。

### 2.2.3 数据处理与三维建模阶段

对接收到的激光雷达数据和光学图像数据进行预处理，包括去噪、去冗余、数据配准等步骤。通过预处理操作，提高数据的质量和效率。利用专业的数据处理软件，对预处理后的激光雷达数据进行三维建模。通过算法处理，将点云数据转换为堆垛货物的三维模型，并提取出货物的体积、高度、面积等关键参数。同时，结合光学图像数据，为三维模型添加材质、颜色等属性信息。将激光雷达数据与光学图像数据进行融合，确保三维模型与实际情况相符。通过对比不同数据源的信息，对模型进行校验和修正，提高模型的准确性和可信度。

### 2.2.4 结果分析与应用阶段

基于处理后的三维模型和属性数据，对堆垛货物的体积、高度、面积等参数进行详细分析和计算。通过对比历史数据或预设标准，评估货物的堆垛效率和利用率。结合光学图像数据，对货物进行自动分类和质量检测。通过识别货物的表面状况、材质类型以及潜在的损坏或污渍，为货物的入库、出库和库存管理提供决策支持。将分析结果以图表、报告等形式进行可视化展示，便于管理人员直观了解堆垛货物的状况<sup>[3]</sup>。同时，生成详细的测量报告，包括测量数据、分析结果、建议措施等内容，为港口的运营管理和决策提供依据。将测量数据和结果存档于数据库或云端平台，便于后续查询和复用。同时，根据需求将数据共享给相关部门或合作伙伴，促进港口堆垛管理信息的互通与共享。

### 3 系统优势

#### 3.1 卓越的高精度测量性能

无人机激光雷达技术以其非凡的毫米级测量精度，在港口散货堆场货物堆垛的测量中展现出无与伦比的准确性。该技术通过激光束的精确发射与接收，能够细致入微地捕捉到货物的每一个微小变化，无论是堆垛的高度、体积，还是形状等关键参数，都能得到精确无误的测量结果。这种高精度的测量能力，不仅超越了传统测量手段在精度上的限制，更为港口的库存管理、物流规划以及货物调度等关键环节提供了精准可靠的数据支撑。它使得港口运营者能够实时掌握货物的准确情况，从而做出更加科学合理的决策，进而提升港口运营的整体效率与准确性。

#### 3.2 全方位智能化监控与即时异常响应

本系统通过高度集成激光雷达、双光吊舱与三光吊舱等尖端作业设备，构建了一套全方位、智能化的港口散货堆场监控体系。这一体系能够实时捕捉货物的动态变化，包括堆垛的倾斜、货物的移位、表面损坏等异常情况，并立即触发预警机制，将异常信息迅速传达给相关人员，以便他们及时采取措施进行处理。这种智能化的监控方式，不仅极大地提高了港口作业的安全性，还有效预防了潜在的安全隐患，确保了港口运营的连续性和稳定性<sup>[4]</sup>。同时，通过实时监控与数据分析，系统还能够为港口的决策支持提供即时、全面的信息，助力港口管理者做出更加明智的决策。

#### 3.3 显著提升作业效率与降低运营成本

相较于传统的测量方法，基于无人机激光雷达的港口堆垛智能化测量作业系统展现出了显著的效率优势与成本效益。无人机以其快速灵活的飞行能力，能够迅速覆盖广阔的堆场区域，实现高效、全面的测量作业。而系统的高度自动化与智能化特性，则大大减少了人工干预的需求，降低了人力成本。此外，通过实时数据处理与结果分析，系统能够迅速生成详尽的测量报告，为港口的决策支持提供即时、准确的信息。这种高效、准确的测量方式，不仅提升了港口运营的整体效率，还降低了运营成本，为港口的可持续发展注入了强大的动力。

综上所述，本系统以其卓越的高精度测量性能、全方位智能化监控与即时异常响应能力，以及显著提升的作业效率与成本效益，为港口散货堆场的管理与运营带来了前所未有的革新与提升。

### 4 应用前景

随着港口物流行业的蓬勃兴起与智能化转型的加速推进，基于无人机激光雷达的港口堆垛智能化测量作业系统正展现出其巨大的应用潜力与广阔的市场前景。此系统不仅大幅提升了港口堆场测量的精确度，还显著增强了数字化管理的深度与广度，为港口散货堆场的日常监管注入了强大的智能动力。展望未来，随着激光雷达技术、无人机技术以及数据处理技术的持续革新与升级，该系统势必将迎来更为丰富的应用场景与更为广泛的行业渗透。无论是港口物流的智能化升级，还是其他需要高精度测量与智能化监管的领域，该系统都有望发挥其独特优势，成为推动行业进步与效率提升的重要力量，为构建更加智慧、高效的物流体系贡献不可或缺的技术支撑。

### 结语

基于无人机激光雷达的港口堆垛智能化测量作业系统是一种创新的测量技术，具有高精度、智能化和高效性等优点。该系统的应用将有助于提高港口堆场的测量精度和数字化管理深度，为港口散货堆场的日常智能化监管奠定良好的基础。随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展，该系统有望在更多领域发挥重要作用。

### 参考文献

- [1]葛磊,蔡鑫根.基于无人机激光雷达的港口堆垛智能化测量作业系统[J].港口科技,2023,(02):21-24.
- [2]阮琼瑶,李文达,张尚弘,等.基于无人机和SfM的天津港堆场散料体积测量[J].水利水电技术(中英文),2021,52(06):198-205.
- [3]杨德山,董丽丽,梁倩倩,等.大型散货堆体积的快速测量[J].光学精密工程,2016,24(09):2126-2133.
- [4]张望,李瑛,杨德山.基于三维激光扫描的散货堆快速建模[J].应用激光,2019,39(02):340-345.